

O Programa de PD&I em Ômica de Palma de Óleo (*Elaeis* spp.) na Embrapa Agroenergia



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 28

O Programa de PD&I em Ômica de Palma de Óleo (*Elaeis* spp.) na Embrapa Agroenergia

Manoel Teixeira Souza Junior
Alexandre Alonso Alves
Carlos Antônio Ferreira de Sousa
Félix Gonçalves de Siqueira
Eduardo Fernandes Formighieri
Guy de Capdeville
Patrícia Verardi Abdelnur
Simone Mendonça

Embrapa Agroenergia

Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº.

Ed. Embrapa Agroenergia.

Caixa Postal 40315.

CEP 70770-901, Brasília, DF.

Fone: + 55 (61) 3448-1581

Fax: + 55(61)3448-1589

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Alexandre Alonso Alves*

Secretária-executiva: *Marcia Mitiko Onoyama Esquiagola*

Membros: *André Pereira Leão, Bruno Galvêas Laviola, Emerson Leo Schultz, Luciane Chedid Melo Borges, Maria Iara Pereira Machado Rosana Falcão, Sílvia Belém Gonçalves.*

Supervisão editorial e revisão de texto: *Luciane Chedid Melo Borges*

Normalização bibliográfica: *Maria Iara Pereira Machado*

Editoração eletrônica e capa: *Maria Goreti Braga dos Santos*

1ª edição

Publicação digitalizada (2017)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroenergia

O Programa de PD&I em Ômica de Palma de Óleo (*Elaeis spp.*) na
Embrapa Agroenergia / Manoel Teixeira Souza Junior ... [et al.].
– Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2017.

41 p. : il. – (Documentos ; v. 28).

Disponível em: <http://www.embrapa.br/agroenergia/publicacoes>

1. Palma de óleo - Ômica. I. Souza Junior, Manoel Teixeira. II.
Série.

CDD 22. – 633.851

Autores

Manoel Teixeira Souza Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Alexandre Alonso Alves

Agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Carlos Antônio Ferreira de Sousa

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Biologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Félix Gonçalves de Siqueira

Biólogo, doutor em Ciências Biológicas (Biologia Molecular), pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Eduardo Fernandes Formighieri

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia Funcional e Molecular, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Guy de Capdeville

Agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Patrícia Verardi Abdelnur

Química, doutora em Química Orgânica,
pesquisadora da Embrapa Agroenergia, Brasília,
DF.

Simone Mendonça

Farmacêutica, doutora em Saúde Pública,
pesquisadora da Embrapa Agroenergi, Brasília, DF.

Apresentação

A sociedade brasileira faz um grande investimento na Embrapa na expectativa de ter soluções para crescimento e fortalecimento do Agro brasileiro. Por esse motivo, é muito importante retornar para a sociedade os resultados desse investimento. Pela própria natureza da pesquisa científica, algumas vezes produzimos ativos tangíveis que são prontamente adotados pela sociedade (novas variedades, processos de transformação de biomassas, insumos para a agricultura, etc.); outras, produzimos ativos intangíveis que se refletem, principalmente, em avanços no conhecimento.

No presente trabalho, estamos relatando os diferentes avanços alcançados nas pesquisas que temos desenvolvido para a cadeia do Dendê. Apresentamos aqui detalhamentos de todos os projetos de pesquisa que desenvolvemos nos últimos anos, bem como todos os resultados atingidos por essas pesquisas. Temos tudo que é necessário para que essa cultura se torne uma das principais fontes de matéria-prima para produção de óleo, combustíveis, ração animal, entre outros produtos de valor agregado no Brasil. Temos 32 milhões de hectares já mapeados para cultivo de dendê, temos sistemas de produção adaptados ao cultivo, mas precisamos crescer a produção de sementes e novos materiais genéticos para que sejamos grandes players nesse mercado.

Esperamos que este trabalho seja útil para avançarmos no processo de adoção dessa cultura em larga escala, uma vez que se trata da cultura que produz o óleo vegetal mais consumido no planeta.

Guy de Capdeville

Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

Sumário

Introdução	9
Contextualização	10
Premissas	22
Objetivos	23
Projetos.....	25
Resultados relevantes	27
Dissertações de mestrado e teses de doutorado	29
Publicações.....	31
Agradecimentos	37
Referências	38

O Programa de PD&I em Ômica de Palma de Óleo (*Elaeis* spp.) na Embrapa Agroenergia

Manoel Teixeira Souza Junior

Alexandre Alonso Alves

Carlos Antônio Ferreira de Sousa

Félix Gonçalves de Siqueira

Eduardo Fernandes Formighieri

Guy de Capdeville

Patrícia Verardi Abdelnur

Simone Mendonça

Introdução

O programa de ômica de Palma de Óleo da Embrapa Agroenergia foi criado em 2010 e, desde a sua criação, buscou ser um dos braços da PD&I do **Programa de Produção e Uso Sustentável da Palma de Óleo** na Embrapa. Este programa de PD&I está orientado na lógica da geração de conhecimento, tecnologias e produtos que contribuam tanto para o desenvolvimento da dendeicultura brasileira na Região Norte do Brasil, principal produtora de Palma de Óleo no País, quanto para fortalecer iniciativas visando à inserção regional do Nordeste e do Centro-Sul do País nessa cadeia produtiva.

As atividades de PD&I desenvolvidas no programa se concentram em três dos quatro laboratórios temáticos da Embrapa Agroenergia, que são: Laboratório de Química de Biomassa e Biocombustíveis (LQB), onde são realizadas as atividades de metabolômica e análises químicas; Laboratório de Processos Bioquímicos (LPB), onde são

realizadas as atividades de seleção e caracterização de microrganismos; e, principalmente, Laboratório de Genética e Biotecnologia (LGB), onde são realizadas as atividades de genômica, transcritômica, genética molecular, genética reversa e fenômica. As atividades de bioinformática são realizadas no Laboratório de Bioinformática da Embrapa Agroenergia, com apoio do Laboratório Avançado Multiusuário de Bioinformática da Embrapa Informática para Agricultura.

Nesta publicação, apresentam-se, de forma sumarizada, as atividades desenvolvidas nos últimos 7 anos. Apresenta-se contextualização do cenário e premissas nas quais o programa foi construído, o seu objetivo geral e objetivos específicos atuais, os projetos já executados e os em execução no âmbito do programa, os resultados relevantes obtidos até o momento, a formação de recursos humanos em conexão com universidades brasileiras, bem como as publicações geradas em decorrência disso.

Pessoas e instituições interessadas em conhecer maiores detalhes do programa podem entrar em contato com a Embrapa Agroenergia no seguinte endereço eletrônico: www.embrapa.br/agroenergia.

Contextualização

Palma de Óleo – A mais produtiva das oleaginosas

A cadeia de produção de óleo de palma no mundo é baseada quase exclusivamente na exploração econômica da espécie *Elaeis guineensis*. De origem africana, essa espécie é conhecida popularmente no Brasil como dendê.

O dendê foi responsável pela produção de 59,4 milhões de toneladas de óleo na safra 2015/16, o equivalente a aproximadamente 32% de todo o óleo vegetal produzido no mundo. Já a soja, com 51,99 milhões de toneladas de óleo na safra 2015/16, o equivalente a aproximadamente 28% de todo o óleo vegetal produzido, ficou em segundo lugar (STATISTA, 2017).

A versatilidade do óleo de palma tornou o dendê uma cultura importante para atender à crescente demanda por óleos vegetais advinda de diversos setores agroindustriais, tais como as indústrias de alimentos, higiene, cosméticos, fármacos, e, mais recentemente, a de biocombustíveis.

No que tange à indústria de biocombustíveis líquidos, o óleo de palma é demandado principalmente para a produção de biodiesel. Biocombustíveis de aviação, como o bioquerosene, também podem ser produzidos a partir do óleo de palma.

A produtividade do dendê pode variar entre 4 e 5 toneladas de óleo de polpa por hectare/ano, e de 1 a 1,5 tonelada de óleo de palmiste (MÜLLER; ALVES, 1997). Essa alta produtividade de óleo coloca a Palma de Óleo no topo da lista de oleaginosas mais produtivas, produzindo, aproximadamente, dez vezes mais óleo por hectare do que a soja, que é a principal fonte de óleo vegetal para a produção de biodiesel no Brasil.

Caiaué, a palma de óleo originária das Américas

O gênero *Elaeis* é composto apenas por duas espécies, a *Elaeis guineensis* e a *Elaeis oleifera*. Esta segunda espécie é popularmente conhecida no Brasil como Caiaué e tem origem no Continente Americano. Populações naturais de Caiaué podem ser encontradas desde a América Central até o norte da América do Sul (Suriname, Colômbia e extremo noroeste do Brasil) (GHESQUIÈRE et al., 1987).

Características como a resistência ao ataque de pragas, a tolerância a terrenos úmidos e a resistência a doenças tornam o Caiaué um importante ativo para o melhoramento genético do dendê. Uma das características mais importantes do Caiaué é a resistência ao amarelecimento fatal (AF), que é o maior problema do cultivo da Palma de Óleo na América. Outra importante característica é a resistência à *Fusarium* spp., doença que limita a produção da Palma de Óleo na África (MICHIELSE; REP, 2009).

O interesse no *E. oleifera* também decorre do seu porte reduzido (cresce somente cerca de 5 cm/ano) e da qualidade do seu óleo, que possui maior teor de ácidos graxos insaturados, aproximadamente 78% contra 48% do *E. guineensis* (CORLEY; TINKER, 2003; RAMOS, 2006).

O óleo do Caiuá também possui um alto teor de caroteno, cerca de 3.000 ppm, contra 700 ppm do dendê. Além de possuir uma alta concentração de vitamina E (700-1500 ppm) e esteróis (3500-4000 ppm), também é rico em tocotrienóis (CHOO; YUSOF, 1996; LUBRANO; ROBIN, 1997).

Essas duas espécies se cruzam com relativa facilidade, produzindo híbridos interespecíficos (HIE) viáveis. As populações de HIE reúnem características favoráveis das duas espécies e se constituem em uma fonte de grande variabilidade genética a ser explorada pelos melhoristas (CUNHA et al., 2009).

A Embrapa já utiliza o Caiuá no seu programa de melhoramento genético de Palma de Óleo, tendo inclusive desenvolvido e lançado no mercado a variedade BRS Manicoré. Esta é um híbrido entre essas duas espécies, recomendado para áreas de incidência do AF (CUNHA; LOPES, 2010).

O Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de Caiuá da Embrapa conta com mais de 200 acessos coletados em diversas regiões da Amazônia Brasileira.

O biodiesel e o bioquerosene

O biodiesel é um biocombustível que foi introduzido na matriz energética brasileira na primeira metade da década passada, com a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2004 e com a promulgação da Lei 11.097 em 2005. Há uma expectativa de aumento no consumo do biodiesel no Brasil nos próximos anos em virtude da nova Lei 13.263, sancionada em março

de 2016, que alterou o percentual mandatório de biodiesel para 8%, 9% e 10% em até três anos após a data de promulgação dessa Lei.

O Brasil foi o segundo maior produtor mundial de biodiesel em 2016, com aproximadamente 3,8 bilhões de litros de biodiesel produzidos, ficando atrás apenas dos EUA, e à frente da Alemanha, da Indonésia e da Argentina (STATISTA, 2017). O biodiesel brasileiro é consumido quase exclusivamente pelo setor de transporte rodoviário.

Outro setor cuja demanda por biocombustíveis deve crescer nos próximos anos, aumentando significativamente a procura por óleo vegetal, é o de aviação. Embora ainda não exista no Brasil um marco regulatório tornando obrigatória uma mistura mínima de biocombustível *drop in*, a expectativa é que essa cadeia de produção e uso de biocombustível de aviação se estabeleça no País no decorrer da próxima década. Esse setor utilizou 7,4 bilhões de litros de querosene de aviação (QAV) em 2015, só no Brasil. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, a mistura de até 50% de bioquerosene ao QAV não causa danos, nem necessita alteração nos motores das aeronaves, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa no ambiente (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2013). Toda essa expectativa decorre principalmente do compromisso assumido pelo setor de transporte aéreo de reduzir em 50% as emissões de CO₂ até 2050. Para maiores informações, vide Simpósio Nacional de Biocombustíveis de Aviação (2013).

A imensa dependência da soja como fonte de óleo vegetal para a produção de biodiesel é entendida por muitos como um fator de risco a médio e longo prazo para o setor de biocombustíveis no Brasil. Aproximadamente 75% de todo o biodiesel produzido no País vem do óleo de soja. Em decorrência disso, o Governo Federal tem incentivado a diversificação da matéria-prima para esse fim. Outro ponto que também tem demandado bastante atenção do Governo Federal no PNPB é a inserção das regiões Norte e Nordeste na cadeia produtora desse biocombustível, com concomitante estímulo ao crescimento da participação da agricultura familiar.

Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo

Em 2010, o Governo Federal lançou um plano de estímulo ao plantio da Palma de Óleo no Brasil, que recebeu o nome de “Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo”. O programa tem como objetivo a expansão disciplinada dessa cultura no País, por meio do Zoneamento Agroecológico (ZAE) e monitoramento por satélite. Além de proibir terminantemente a derrubada de floresta nativa para produção de Palma de Óleo, este programa estabeleceu regras claras para a expansão do cultivo, conciliando proteção e recuperação do meio ambiente, investimento, inovação tecnológica e geração de renda na agricultura familiar.

Este programa apresenta uma estratégia coerente com os compromissos de preservação ambiental assumidos voluntariamente pelo Brasil na XV Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, na Dinamarca, e visa garantir que a expansão da produção de palma de óleo ocorra sob o signo da sustentabilidade.

O zoneamento agroecológico é uma estratégia utilizada para a identificação, caracterização e delineamento cartográfico de uma área, a fim de classificá-la de acordo com sua propensão para o cultivo sustentável de uma determinada espécie vegetal. Essa avaliação é feita a partir da comparação entre as exigências ecofisiológicas da planta e o potencial da área onde se pretende introduzir a cultura (RAMALHO FILHO et al., 2010).

De acordo com as diretrizes e restrições à expansão da cultura, um total de 31,8 milhões de hectares foram identificados no ZAE-Palma de Óleo como aptas ao plantio. Essas áreas estão localizadas nos seguintes estados: Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Alagoas, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Embora tenha promovido um aumento significativo na área plantada com Palma de Óleo desde a sua instituição em 2010, o programa ainda não foi capaz de elevar a produção dessa palmeira no Brasil a

um patamar de protagonismo na produção mundial. Nem mesmo nas Américas, onde a Colômbia é a principal produtora, com quase meio milhão de hectares plantados.

Com isso, ainda não foi possível inserir essa palmeira no rol das principais matérias-primas para o biodiesel no Brasil. A título de exemplo, para que a Palma de Óleo viesse a fornecer 20% do óleo para produção de biodiesel hoje no Brasil, igualando-se à participação que a gordura animal tem atualmente, seriam necessárias aproximadamente 800 mil toneladas de óleo de palma. Para produzir esse montante, e considerando uma produtividade média de quatro toneladas por hectare, seriam necessários 200 mil hectares dedicados totalmente a esse fim.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma (Abrapalma) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), o Brasil tinha em 2015 um total de aproximadamente 250 mil hectares plantados com essa palmeira, tendo produzido próximo a 400 mil toneladas de óleo. Porém, naquele ano o consumo de óleo de palma pelo setor alimentício foi de aproximadamente 550 mil toneladas; quase 40% maior que a oferta nacional. Portanto, para se tornar autossuficiente em óleo de palma, atendendo à demanda interna atual dos diversos setores que utilizam o óleo, e ainda fornecer matéria-prima para a produção de meros 20% do biodiesel nacional, há a necessidade de expansão da área de colheita de palma de óleo em pelo menos 300 mil hectares.

Ampliar a área de cultivo da palma de óleo para além da região Norte

Aproximadamente 90% das áreas de cultivo da palma de óleo no Brasil estão concentradas no Estado do Pará. A presença do amarelecimento fatal (AF) e os problemas fundiários e de logística daquela região do País são importantes fatores a serem considerados quando se discute uma eventual expansão significativa da área plantada com essa cultura naquele Estado. Esses fatores certamente trarão grandes limitações para que aconteça uma escalada significativa no tamanho da área plantada com palma de óleo naquele estado, para atender à demanda

do setor de biocombustíveis e ser alternativa ao óleo de soja. A questão que fica é se essa expansão da área plantada será restrita àquele estado, ou se deve ser considerada e incentivada também em outras regiões do Brasil.

Promover a expansão da palma de óleo em outras regiões do País, além da região Norte, é uma estratégia com maiores chances para viabilizar um aumento sustentável da dendeicultura no Brasil. Em outras regiões, o desenvolvimento da dendeicultura pode e deve estar conectado a iniciativas de recuperação de áreas degradadas, incorporação de áreas marginais ao sistema produtivo, utilização de sistemas integrados de produção e aproveitamento de água de reuso ou de baixa qualidade. Isso permitiria manter algumas das diretrizes propostas pelo “Programa de Produção e Uso Sustentável da Palma de Óleo”. Nesse contexto, faz-se necessário avaliar a viabilidade técnica e econômica da expansão das áreas plantadas com palma de óleo em outros estados e outras regiões, com destaque para as regiões Nordeste e Centro-Sul do Brasil.

Um dos fatores que mais influenciam o estabelecimento da palma de óleo em uma determinada região é a condição climática. A planta apresenta grande sensibilidade ao estresse hídrico, fator esse que precisa ser fortemente considerado no processo de ampliação da área plantada. Existem poucos estudos relacionados à produção sob condições de irrigação da palma de óleo no Brasil, mas já se constatou que há incremento na produção dos cachos em função da irrigação, bem como no número de cachos produzidos por planta (VEIGA et al., 2001).

Embora seja comprovado que a irrigação pode proporcionar um aumento substancial na produtividade, que pode resultar no aumento da quantidade de alimento produzido no mundo, dentro da mesma área, apenas 15% de todo o solo utilizado para produção agrícola mundial é irrigado (FAO, 2017). Os maiores problemas associados ao uso de sistemas de irrigação decorrem da quantidade e da qualidade da água utilizada. Negligenciar esses fatores podem trazer sérios prejuízos ao setor, decorrentes tanto da falta de água nos momentos mais

importantes para o desenvolvimento da planta, quanto do aumento da salinidade dos solos.

De acordo com a FAO (FAO, 2017), 6% de todas as terras do mundo são afetadas pela salinidade. Dos 230 milhões de hectares de solo irrigado, 19,5% são afetados pela presença excessiva de sais, tais como sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos (PARIHAR, 2015). Esses sais estão normalmente presentes nas águas de irrigação por consequência da dissolução de rochas e solos. Quando o solo é irrigado, esses sais são depositados de maneira gradual e constante, podendo se acumular em níveis prejudiciais às plantas (PODMORE, 2009).

O acúmulo desses sais próximo à zona radicular da cultura resulta na diminuição da produção, uma vez que a planta não é capaz de absorver água de maneira eficiente e passa a sofrer estresse hídrico. A planta apresenta sintomas como: a seca fisiológica, devido à diminuição do potencial osmótico; desequilíbrio nutricional, pela inibição da absorção de outros nutrientes; diminuição no crescimento. Esses sintomas variam de acordo com o nível de salinidade e o estágio de crescimento da planta (PODMORE, 2009; PARIHAR, 2015).

Em suma, a segurança hídrica é central para garantir a expansão de forma sustentável da área plantada com a palma de óleo. O uso de cultivares tolerantes à seca e à salinidade, obtidas por melhoramento genético convencional ou por engenharia genética, pode vir a ser ativo fundamental para viabilizar essa expansão.

A palma de óleo no bioma cerrado

O bioma cerrado é o segundo maior do País, cobrindo 24% do território e com 46,74% de sua área ocupada pelo homem ou pastagens nativas. A possibilidade de expandir a produção de palma de óleo para a região central do Brasil tem chamado a atenção de pesquisadores, principalmente pelas condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo (TELES, 2014). No entanto, existem algumas características peculiares do cerrado, como solos ácidos, temperaturas médias bem abaixo das

observadas na região Norte do Brasil e um clima com longos períodos de seca. Essas características podem dificultar o estabelecimento de algumas culturas (MULLER; MARTHA JUNIOR, 2008), entre elas a palma de óleo.

A Embrapa Cerrados tem conduzido estudos com o objetivo de avaliar a produção de óleo de palma em região de cerrados, no Distrito Federal. Os resultados mostram que as quatro diferentes cultivares de palma de óleo estudadas apresentam boa produtividade de cachos de fruto fresco e de óleo extraído, quando cultivadas com sistema de irrigação (TELES, 2014), e que a taxa de extração do óleo de palma e palmiste pode variar de acordo com a cultivar utilizada. O cultivo da palma de óleo irrigada em solos de cerrado resulta em boa produtividade, com a vantagem de não apresentar as doenças e pragas que são comuns nas regiões produtoras tradicionais (TELES, 2014).

A toxicidade por alumínio é um dos principais fatores para a diminuição da produtividade das culturas em solos ácidos. Em pH abaixo de 5, os íons Al^{3+} são liberados e tornam-se muito tóxicos para as raízes das plantas, causando perda de função e redução no crescimento (KOCHIAN, 1995). As consequências do alumínio no metabolismo das plantas podem ser observadas por um estresse imediato, seguido de efeitos secundários. O Al pode se ligar a grupos carboxílicos e fosfatos da parede celular, causando alterações estruturais e na expansão da parede, que comprometem o sistema radicular pela redução da absorção de água e nutrientes do solo (KOCHIAN, 1995).

A calagem, comumente utilizada na agricultura para a correção da acidez do solo, é um método relativamente eficaz, de baixo custo e com resultados de curto e médio prazo. Entretanto, é fundamental que se faça a repetição do processo sempre que necessário. Essa repetição é dificultada quando a cultura é perene, como no caso da palma de óleo (FRANZINI et al., 2012). Além disso, esse processo atinge apenas as camadas superficiais da terra, tornando-se ineficiente para sistemas radiculares mais profundos. Por essas razões, a utilização de cultivares tolerantes ao alumínio, obtidas seja por melhoramento genético convencional, seja pelo emprego da engenharia genética,

é tida como estratégia eficaz para a sustentabilidade econômica de espécies importantes para o agronegócio brasileiro em solos de cerrado. A palma de óleo é cultivada principalmente nos trópicos; e a melhor temperatura para seu desenvolvimento é aproximadamente 27 °C, com uma temperatura mínima para crescimento de 15 °C (FERWERDA, 1997). Baixas temperaturas durante o inverno afetam negativamente o crescimento dessa cultura, levando ao aparecimento de danos devido ao frio, tais como amarelecimento e atrofia das folhas jovens e das flores, e redução na taxa de diferenciação do botão floral (LEI et al., 2014). Portanto, para garantir um avanço sustentável da dendeicultura no Centro Sul do Brasil, também é imperativo caracterizar e promover o aumento da tolerância ao frio em *E. guineensis*.

A palma de óleo no Nordeste Brasileiro

Segundo a Agência Nacional do Petróleo (2017), em 2016, somente três unidades produtoras de biodiesel, das 50 instaladas no Brasil, se encontravam na Região Nordeste. Essas três unidades representavam somente 6,2% da capacidade instalada no País, produzindo 8% de todo o biodiesel produzido no Brasil. Após a decisão da Petrobrás Biocombustível de fechar a Usina de Biodiesel de Quixadá, no Ceará, tomada no segundo semestre de 2016, a participação da região ficou reduzida a somente duas usinas.

O Nordeste tem aproximadamente 28% da população do País e responde por algo em torno de 14% do Produto Interno Bruto (IBGE, 2017). Esse quadro mostra claramente que, no que tange à produção de biodiesel no Brasil, a Região Nordeste tem uma participação pequena, menor que a demanda potencial da sua população, e essa participação tem reduzido nos últimos anos. Portanto, o desafio de promover a inserção da região na cadeia de produção de biodiesel simplesmente não logrou sucesso nos primeiros 10 anos do PNPB. Esse problema continua, e soluções inovadoras se fazem necessárias.

A Região Nordeste do Brasil é subdividida em quatro zonas principais, são elas: Meio-norte, Zona da Mata, Agreste e Sertão. O Agreste e o Sertão compõem o que se convencionou chamar de Semiárido Brasileiro. Em 2014, a população do semiárido brasileiro era de

aproximadamente 23,8 milhões de pessoas, o que equivale a pouco mais de 42% da população da Região Nordeste e a quase de 12% da população do País (INSTITUTO NACIONAL DO SEMI-ÁRIDO, 2017; IBGE, 2017). A delimitação do semiárido toma por base três critérios técnicos: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 milímetros; índice de aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,5; e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017).

A segurança hídrica é condição *sine qua non* para se promover o desenvolvimento da agricultura no Nordeste do Brasil e em especial no semiárido brasileiro. A constante convivência com um risco de seca faz com que a agricultura nessa região seja enormemente dependente de irrigação para ser sustentável do ponto de vista econômico. Como fonte de água para irrigação nessa região, têm-se poços naturais, poços amazonas, rios perenes, rios perenizados, açudes e o Oceano Atlântico. O uso de água dos poços, açudes, rios perenes e dos perenizados para a irrigação suscita a questão da competição com o uso para consumo humano, situação agravada nos últimos anos devido ao longo período de seca pelo qual passa a região. Em suma, é imperativo priorizar o uso sustentável da água doce para o consumo humano nessa região, onde esse tipo de água é escasso, e, conseqüentemente, promover o uso sustentável dos demais tipos de água para a irrigação das lavouras, seja para a produção de alimentos para consumo humano e dos animais, seja de biomassa para geração de bioenergia.

Além da questão da água doce para consumo humano vs. água doce para irrigação de lavouras, outra questão que se coloca é a qualidade da água utilizada para irrigação. Audry e Suassuna (1995), ao analisar a salinidade das águas de irrigação do semiárido brasileiro em poços naturais, poços amazonas, rios perenes, rios perenizados e açudes, evidenciou que 80%, 61%, 60%, 50% e 38%, respectivamente, apresentaram salinidade alta (CE entre 751 e microsiemens/cm). Segundo esses autores, para os dois anos de observações, foram analisados 13 açudes de pequeno, médio e grande porte, 10 rios perenizados, cinco rios perenes, 10 poços naturais, 28 poços amazonas

e dois poços tubulares, distribuídos nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

Segundo a Fundação Joaquim Nabuco (2017), para promover a produção agrícola no Nordeste Brasileiro, faz-se necessário desenvolver esforços no sentido de incentivar todas as formas de pesquisas que visem a melhor entender a resistência das culturas quando submetidas à irrigação com águas salinas.

As espécies vegetais podem ser classificadas quanto à tolerância a salinidade, em glicófitas e halófitas. As halófitas são plantas notáveis que toleram concentrações de sal que matam 99% das plantas; elas sobrevivem e se reproduzem em ambientes onde a concentração de sal é de cerca de 200 mM NaCl ou mais, e constituem cerca de 1% da flora do planeta. O efeito da salinidade sobre o crescimento varia entre as halófitas (FLOWERS; COLMER, 2008).

A agricultura biosalina é uma forma relativamente nova de lidar com a salinidade na agricultura. Os primeiros relatos científicos desse tipo de agricultura datam do final da década de 1950. Nesse contexto se desenvolvem sistemas de cultivo para ambientes salinos, utilizando a capacidade de certas plantas para crescer em condições salinas, em combinação com o uso de solos e recursos hídricos salinos, e com um melhor manejo do solo e da água. Segundo a Fundação Organização para a Agricultura em Ambiente Salino (OASE FOUNDATION, 2017), como a salinidade está influenciando cada vez mais nossos ambientes, há uma urgência no desenvolvimento de sistemas de cultivo que possam produzir em condições salinas.

No caso específico das plantas a serem utilizadas na agricultura biosalina, existem dois cenários possíveis. O uso de plantas halófitas de reconhecida e validada importância para os setores agropecuário e agroindustrial, ou a transferência para as glicófitas da tolerância ao sal observada nas halófitas. Essa transferência se daria mediante emprego de estratégias de engenharia genética.

O emprego da agricultura biosalina para produção de biomassa de plantas halófitas e transformação desta em bioenergia é um tema que tem crescido em importância nos últimos anos. Esse tipo de agricultura não só permite a incorporação de áreas marginalizadas ao sistema produtivo agrícola de um País, como seria o caso do Semiárido Brasileiro, como também pode fazer uso do maior manancial de água disponível no planeta, a água do mar. Somente 3% de toda a água disponível no mundo é água doce, o restante é água do mar. Segundo Sharma et al. (2016), adaptar e melhorar o potencial produtivo de halófitas provê imensas oportunidades de aproveitamento de diversas áreas marginalizadas pelo mundo, desde áreas como o semiárido brasileiro até os desertos do Saara e da Austrália. Além disso, esses autores chamam a atenção para a oportunidade de promover a ecofisiologia vegetal nesses ambientes, reduzir a temperatura nos mesmos, reduzir a toxidez de metais e ajudar a reconstituição e estabilização da diversidade da flora e da fauna.

O Caiaué é classificado como uma espécie hidro-halófita, que se desenvolve nos mangues e em lagoas costeiras (eHALOPH, 2017). A resposta da palma de óleo ao estresse salino não é um tema que suscitou muitos estudos até o momento; consequentemente, há a necessidade de realizar análises mais aprofundadas que possam realmente avaliar a resposta dessas duas espécies de palma de óleo ao estresse salino, haja vista que, segundo Suresh et al. (2016), tolerância a salinidade está entre as principais características a serem trabalhadas em programas de melhoramento genético da palma de óleo.

Premissas

O Programa de PD&I em ômica de palma de óleo (*Elaeis* spp.), em execução na Embrapa Agroenergia desde 2010, parte essencialmente de quatro premissas principais, que são:

- Espécies vegetais e de microrganismos, nativas do Brasil, e pouco caracterizadas, guardam diversas moléculas com potencial de uso para agregar va-

lor às culturas agrícolas brasileiras. Essa agregação de valor pode resultar no aumento da eficiência do processo de produção agrícola, como também da eficiência do processo de transformação da biomassa pela agroindústria, levando a um consequente aumento da competitividade da cadeia de produção agroindustrial associada àquela cultura.

- Quando submetida a um processo robusto de caracterização, uma espécie vegetal ou um microrganismo revelará a existência de diversas macromoléculas e micromoléculas com potencial de uso para reduzir os efeitos dos estresses bióticos e abióticos que limitam o desenvolvimento econômico de importantes culturas agrícolas brasileiras.
- A caracterização molecular de uma espécie vegetal, ou de um microrganismo, realizada de forma integrada, mediante emprego da bioinformática, da genômica, da transcritômica, da proteômica, da metabolômica, da genética molecular, da genética reversa e da fenômica, viabilizará o emprego de estratégias distintas e inovadoras de descoberta e validação de moléculas (região promotora e região codante de genes, proteínas, metabólitos e marcadores moleculares) de interesse para o agronegócio brasileiro.
- Depois de validada em organismo modelo (prova de conceito) quanto à expressão de uma determinada característica, uma molécula prospectada em uma espécie vegetal ou um em microrganismo nativo do Brasil, e que apresente interesse para o agronegócio brasileiro, se prestará para agregar valor a outras espécies, mediante expressão heteróloga.

Objetivos

Objetivo geral

Aplicar, de forma integrada, a bioinformática, a genômica, a transcritômica, a metabolômica, a genética molecular, a genética reversa e a fenômica, em estratégias de descoberta e validação de genes, promotores, marcadores moleculares e características de interesse para a dendeicultura brasileira. Embora focado nos interesses desse setor do agronegócio brasileiro, os conhecimentos e produtos gerados neste programa de PD&I poderão também ser empregados nos demais setores. Este programa de PD&I tem especial atenção no

desenvolvimento de soluções para estresses bióticos e abióticos que acometem o dendê e outras espécies vegetais de importância para o Brasil.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos do programa de ômica de palma de óleo da Embrapa Agroenergia acompanharam o desenvolvimento das ciências ômicas e a dinâmica de resultados obtidos nos últimos 7 anos, sempre buscando aprimorar as oportunidades para atendimento do objetivo geral. Podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Desenvolver e validar estratégia de genotipagem por sequenciamento baseada em captura de sequências.
- Ressequenciamento em pools de baixa cobertura (PoolSeq) de genótipos selecionados de *E. guineensis* e *E. oleifera* para descoberta de polimorfismos intraespecíficos e interespecíficos.
- Gerar banco de dados de fenômica com dados referentes às respostas fisiológicas da palma de óleo, como também de plantas modelo e plantas de referência, a estresses abióticos e bióticos.
- Gerar banco de dados de metabolômica com dados referentes às respostas metabólicas da palma de óleo, como também de plantas modelo e plantas de referência, a estresses abióticos e bióticos.
- Gerar banco de dados de transcritômica com dados referentes às respostas transcricionais da palma de óleo, como também de plantas modelo e plantas de referência, a estresses abióticos e bióticos.
- Prospecção, caracterização e validação de genes e promotores candidatos para tolerância à salinidade.
- Prospecção, caracterização e validação de genes e promotores candidatos para tolerância ao frio.
- Prospecção, caracterização e validação de genes e promotores candidatos identificados no genoma de *E. oleifera*, para resistência a estresses bióticos (fitoparasitas).

- Obter versão 1.0 dos genomas de cinco fungos basidiomicetos selecionados como promotores de modificações bioquímicas na biomassa de Palma de Óleo.
- Ter três dissertações de Mestrado e quatro de Doutorado defendidas e aprovadas, com resultados oriundos desse projeto, até o final de 2019.

Projetos

Até o momento quatro projetos foram aprovados e executados no escopo deste programa de PD&I, sendo dois de PD&I, um de montagem de infraestrutura, e um de formação de recursos humanos. Dois dos projetos (ProDendê e IEFenomics) já foram concluídos. Uma descrição sumarizada dos quatro projetos é apresentada a seguir:

- Projeto **ProDendê [Dinamização do banco ativo de germoplasma de dendê (*Elaeis guineensis*) da Embrapa e apoio ao melhoramento genético]**: Os objetivos principais do projeto eram: obter cultivares de dendezeiro com alta produtividade, resistentes ao amarelecimento fatal e com reduzido crescimento vertical do caule pelo emprego de métodos convencionais e biotecnológicos; definir protocolos para propagação clonal em larga escala de genótipos elite e genitores, selecionados no programa de melhoramento genético, para incorporação ao sistema produtivo nacional; identificar e caracterizar componentes genéticos de resistência a estresses bióticos e desenvolver marcadores gênicos funcionais para mapeamento genético a ser utilizado em programas de melhoramento de dendê e Caiaué; usar a metagenômica como estratégia para identificação do agente causal do Amarelecimento Fatal (AF); desenvolver sistema de referência de transformação genética de genótipos de dendezeiro para incorporação de genes de resistência para a cultura; e obter tecido haploide de *Elaeis spp.* para uso em estratégia de sequenciamento do genoma de Caiaué. O projeto foi executado em colaboração com a Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e Universidade Católica de Brasília, tendo sido concluído em dezembro de 2015.
- Projeto **IEFenomics (Infraestrutura de Equipamento - Genética Reversa e fenotipagem de alta precisão aplicada à descoberta de genes/características**

de importância para agroenergia): O projeto foi aprovado na CHAMADA PÚBLICA MCT/FINEP/ CT-INFRA-PROINFRA - 01/2009/60, para execução no período de 2010 a 2013. Tinha como objetivo geral complementar a infraestrutura de equipamentos do Laboratório de Genética e Biotecnologia da Embrapa Agroenergia, para fortalecer ações de PD&I, em rede com outras unidades descentralizadas da Embrapa, e assim promover o avanço do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico em: fenotipagem de alta precisão para caracterização de recursos genéticos; genética reversa visando prospecção e validação de novos genes/características; e desenvolvimento de novos genótipos de microrganismos e espécies vegetais com alto valor agregado de interesse à agroenergia. A Embrapa Agroenergia buscou, no contexto do IEFenomics, e em conjunto com o Laboratório Avançado Multiusuário de Bioinformática da Embrapa Informática para Agricultura, organizar o acesso a bases públicas de dados de ômica (genômica, metabolômica e metagenômica) com importância para a produção de bioenergia, como também o processo de depósito e análise de dados de ômica obtidos em projetos desenvolvidos pela Embrapa Agroenergia e parceiros, objetivando melhorar a eficiência no acesso a bancos de dados de ômica e à eficácia na identificação de genes candidatos a serem validados por meio de genômica funcional e genética reversa.

- **Projeto DendêPalm (Estratégias Genômicas e Agregação de Valor para a Cadeia Produtiva do Dendê) - FINEP:** Tem como objetivo principal viabilizar o projeto de médio prazo (10 a 12 anos) de PD&I do Programa de Produção Sustentável de Palma de Óleo na Embrapa. É centrado no avanço da caracterização dos recursos genéticos disponíveis para o programa de melhoramento genético de Palma de Óleo da Embrapa, com enfoque especial em genômica de Caiaué; no escalonamento dos protocolos de clonagem in vitro já desenvolvidos pela Embrapa, com vistas a atender, em curto prazo, as demandas do programa de melhoramento genético, e, em médio prazo, as demandas da iniciativa privada que promovam investimentos na produção de mudas in vitro de palma de óleo em larga escala; bem como em viabilizar economicamente a cadeia produtiva de dendê abordando questões relacionadas ao desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, em especial ao aproveitamento de coprodutos e resíduos, contribuindo simultaneamente para minorar a geração de poluentes. O projeto é executado

em colaboração com a Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Agroindústria Tropical, Embrapa Informática para Agricultura, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Embrapa Agroindústria de Alimentos, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Universidade de Brasília, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade Federal do Pará.

- Projeto **DendêPalm (Estratégias Genômicas e Agregação de Valor para a Cadeia Produtiva do Dendê)** – CAPES/Embrapa: Aprovado dentro do Edital Capes/Embrapa de 2014, o projeto tem duas bolsas de mestrado, duas de doutorado e uma de pós-doutorado, sendo utilizadas por estudantes e profissionais que desenvolvem pesquisa diretamente ligada ao Programa de PD&I em ômica de Palma de Óleo (*Elaeis* spp.). Este projeto tem vigência até março de 2019.

Resultados relevantes

O programa de PD&I em ômica de Palma de Óleo (*Elaeis* spp.) já gerou uma série de resultados que podem ser classificados como produtos pré-tecnológicos ou avanço do conhecimento. A seguir, é apresentado um conjunto com 11 desses resultados:

- Reavaliação do tamanho do genoma de *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* e do híbrido interespecífico, corrigindo erro existente na literatura.
- Caracterização do desenvolvimento floral de *Elaeis oleifera* por técnicas microscópicas.
- Determinação do estágio ideal para coleta de amostras de flores masculinas de *Elaeis* spp., visando estudos citogenéticos e desenvolvimento de metodologia de preparo de lâminas contendo spreads de cromossomos para uso em estudos de mapeamento físico citogenéticos (GISH e FISH).
- Estabelecimento de Banco de Marcadores Moleculares de *Elaeis oleifera*: a partir de 553 plantas, oriundas de 206 acessos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *E. oleifera* da Embrapa Amazônia Ocidental, uma a três plantas por acesso, foram submetidas a genotipagem por sequenciamento utilizando a tecnologia de DArTSeq (DArT Pty - www.diversityarrays.com).

Um total de 7.461 marcadores SNPs (Single Nucleotide Polymorphism) e 7.790 marcadores PAVs (Presence/Absence Variation) foram gerados e constituem o banco de marcadores moleculares dessa espécie disponível. Além disso, foram identificados no draft 1.0 do genoma completo de *Elaeis oleifera*, um total de 328.879 locos de repetições em tandem, que são potenciais marcadores microssatélites para essa espécie. O banco de marcadores já está sendo utilizado pela Embrapa Agroenergia em estudos de diversidade genética, de estrutura de populações, de validação de coleções nucleares, etc.

- Método high throughput, baseado em metabolômica, para coleta, armazenamento de amostra e detecção de uma ampla gama de classes de metabólitos a partir de folhas de dendê.
- Prospecção e caracterização de elementos transponíveis e microssatélites presentes nos genomas de *Elaeis oleifera* (American oil palm, v.1, Embrapa, unpublished; v.8, Malaysian Palm Oil Board [MPOB], public), *Elaeis guineensis* (African oil palm, v.5, MPOB, public), e *Phoenix dactylifera*.
- Caracterização da diversidade genética e da estrutura populacional do BAG de Caiaué da Embrapa, por meio de marcadores tipo SNPs e PAVs.
- Coleções nucleares validadas para *Elaeis oleifera*: Coleções de germoplasma de plantas perenes são mantidas in vivo em condições de cultivo. Dessa forma, os gastos com a manutenção dessas coleções são bastante elevados. Além disso, devido ao fato de muitas das características de espécies perenes terem expressão tardia, os custos com avaliações anuais de extensas coleções são igualmente elevados. No caso do Caiaué, o BAG da Embrapa conta com 206 acessos ocupando uma área de quase 30 ha. Um conjunto de 500 SNPs, selecionados a partir do Banco de Marcadores Moleculares de *E. oleifera*, foi utilizado para desenhar e validar coleções nucleares desse BAG.
- Versões 1.0 e 2.0 do genoma completo de *Elaeis oleifera* (Caiaué, acesso Manicoré): Consiste em sequências genômicas completas (Whole Genome Sequence - WGS) de *E. oleifera* (Caiaué, acesso Manicoré). O genótipo selecionado é oriundo do acesso Manicoré, o qual é utilizado como mãe do BRS-Manicoré, híbrido interespecífico desenvolvido e lançado pela Embrapa. O draft 1.0 do sequenciamento *de novo* desse genótipo foi gerado mediante montagem utilizando um conjunto de sequências de DNA, geradas

com a tecnologia Illumina HiSeq2000, equivalente a 130 coberturas do genoma. Para gerar o draft 2.0 desse genoma, sequências longas geradas mediante emprego de tecnologia PacBio e novas sequências geradas com a tecnologia Illumina HiSeq2500 (utilizando biblioteca de insertos longos) foram agregadas ao conjunto inicial de dados utilizados para gerar draft 1.0.

- Caracterização em larga escala de genes análogos de resistência (RGAs) codificadores de domínios NBS em palma de óleo (*Elaeis guineensis* e *E. oleifera*).
- Caracterização química do óleo do mesocarpo de acessos de *Elaeis oleifera* (H.B.K.) oriundos da Amazônia brasileira e mapeamento *in silico* de lipases putativas das classes 3 (GxSxG) e GDSL nos genomas de palma de óleo.

Dissertações de mestrado e teses de doutorado

O Programa de PD&I em ômica de Palma de Óleo (*Elaeis spp.*) da Embrapa Agroenergia tem uma forte conexão com a formação de recursos humanos. Essa conexão decorre, principalmente, do fato de o coordenador do programa, pesquisador Manoel Teixeira Souza Júnior, ser Docente do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (Ufla)¹.

Seis dissertações de mestrado e duas de doutorado foram desenvolvidas e concluídas dentro deste programa de PD&I no período entre janeiro de 2012 e junho de 2017. Destas, somente uma de doutorado e uma de mestrado não foram ligadas ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da Ufla, tendo sido ligadas ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade de Brasília (UnB) e ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Goiás (UFG). A lista de dissertações concluídas é apresentada a seguir.

¹ www.prgg.ufla.br/biotecnologia

Até junho de 2017, uma nova dissertação de mestrado e quatro dissertações de doutorado foram iniciadas, com previsão de conclusão no biênio 2018-2019. Todas essas dissertações são ligadas ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da Ufla. Vide lista de dissertações em andamento abaixo.

Dissertações e teses concluídas

- CAMILLO, J. **Diversidade genética, conservação *in vitro* de germoplasma e análise do conteúdo de DNA nuclear em Palma de Óleo *Elaeis guineensis* Jacq. e *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés.** 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia e Medicina Veterinária) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- FARIAS, M. P. de. **Caracterização do desenvolvimento floral de *Elaeis oleifera* (H.B.K) Cortés.** 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- VARGAS, L. H. G. **Prospecção de genes tecido específico e metabólitos em *Elaeis* spp.** 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- FERREIRA FILHO, J. A. **Caracterização de sítios polimórficos e sequências repetitivas, e estabelecimento de coleção nuclear de Caiuá [*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés].** 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- PEREIRA, V. M. **Diversidade genética e estrutura populacional de *Elaeis oleifera* por meio de DArTSeq.** 2015. 128 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- GUTIÉRREZ, M. D. E. **Caracterização química do óleo do mesocarpo de acessos de *Elaeis oleifera* (H.B.K.) oriundos da Amazônia Brasileira e mapeamento *in silico* de lipases putativas das classes 3 (GxSxG) e GDSL nos genomas de Palma de Óleo.** 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- SANTOS, M. de L. **Prospecção e caracterização de genes análogos de resistência (RGAS) em *Elaeis* spp. e avaliação da tolerância de *Setaria viridis* a estresse salino e de frio.** 2017. 115 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- RODRIGUES-NETO, J. C. **Prospecção de marcadores químicos relacionados ao Amarelecimento Fatal em folhas de *Elaeis guineensis* utilizando abordagem metabolômica**. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

Dissertações e teses em andamento

- Calil Gibran Iraioire Carvalho. Início em 2/2016. Dissertação de Mestrado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da UFLA, com bolsa da CAPES.
- Letícia Rios Vieira. Início em 1/2015. Tese de Doutorado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da UFLA, com bolsa da CAPES/Embrapa.
- Vivianny Nayse Belo Silva. Início em 1/2015. Tese de Doutorado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da UFLA, com bolsa da CAPES.
- Elias Alves da Silva. Início em 1/2015. Tese de Doutorado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da UFLA, com bolsa da CAPES/Embrapa.
- Hetiene Pereira Marques. Início em 1/2015. Tese de Doutorado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da UFLA, com bolsa da CAPES/Embrapa.
- Mariana Ferreira de Lima David. Início em 02/2016. Dissertação de Mestrado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da UFRPe, com bolsa da CAPES.

Publicações

O Programa de PD&I em ômica de Palma de Óleo (*Elaeis spp.*) busca divulgar os seus trabalhos e seus avanços mediante a publicação de resumos em anais de congressos, palestras em congressos/simpósios/workshops, publicação de artigos científicos em revistas indexadas (que tenham sistema de *peer review* para promover uma análise criteriosa da qualidade dos manuscritos submetidos à publicação) e outros meios de comunicação.

Desde que foi criado, em 2010, o programa gerou diversas publicações, as quais estão apresentadas abaixo.

Resumos em anais de congressos

- FERREIRA FILHO, J.A.; FORMIGHIERI, E.F.; SOUZA JR, M.T.; ALVES, A.A. Genomic characterization of *E. oleifera* polymorphic sites based on physical mapping to the *E. guineensis* genome. In: PLANT AND ANIMAL GENOME CONFERENCE, 23., 2015, San Diego. Proceedings of the XXIII Plant and Animal Genome Conference, 2015.
- FERREIRA FILHO, J.A.; LOBO, F.P.; SOUZA JR., M.T.; ALVES, A.A.; FORMIGHIERI, E.F. Genome assembly of an Amazonian *Elaeis oleifera* genotype and comparative analysis with other oil palm genomes. In: PLANT AND ANIMAL GENOME CONFERENCE, 23., 2015, San Diego. Proceedings of the XXIII Plant and Animal Genome Conference, 2015.
- ALVES, A.A.; FORMIGHIERI, E.F.; LEO, A.P.; LOBO, F.P.; RIOS, S.A.; CAPDEVILLE, G. de; SOUZA JUNIOR, M.T. Exploring American Oil Palm (*Elaeis oleifera*) genetic resources in Brazil through a combination of genetic and genomic approaches. In: PLANT AND ANIMAL GENOME CONFERENCE, 22., 2014, San Diego. Proceedings of the XXII Plant and Animal Genome Conference, 2014.
- FERREIRA FILHO, J.A.; SOUZA JR, M.T.; ALVES, A.A.; FORMIGHIERI, E.F. Comparison of draft genome sequences of *Elaeis oleifera* generated using different platforms reveals that a cost-effective short-read approach can be used to effectively sample a large and complex plant genome. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 60., 2014, Guarujá, SP. Anais do LV Congresso Brasileiro de Genética, 2014.
- LIMA, R.S.; LOBO, F.P.; CARAZZOLLE, M.F.; COSTA, G.G.L.; RODRIGUES, E.L. de C.; ALVES, A.A.; YAMAGISHI, M.E.B.; SOUZA JUNIOR, M.T.; FORMIGHIERI, E.F. *Elaeis oleifera* genome draft - genomics of american oil palm. In: MEETING, 10., 2012, Campinas, SP. Proceedings of X-meeting, 2012.
- SOUZA JR., M.T.; CAPDEVILLE, G.; FORMIGHIERI, E.F.; CAMILLO, J.; ALVES, A.A.; LEO, A.P. Whole genome sequencing of the *E. oleifera* South-American wild oil palm. In: PLANT AND ANIMAL GENOME CON-

ERENCE, 20., 2012, San Diego, California. Proceedings of XX Plant and Animal Genome Conference, 2012.

- ALVES, A.A.; FORMIGHIERI, E.F.; CAMILLO, J.; LEO, A.P.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR., M.T. Revisiting an unfinished business: the genome size of *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and its inter-specific hybrid. In: PLANT AND ANIMAL GENOME CONFERENCE, 20., 2012, San Diego, California. Proceedings of XX Plant and Animal Genome Conference, 2012.
- FORMIGHIERI, E.F.; LIMA, R.; ALVES, A.A.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR., M.T. Embrapa Agrienergy oil palm research platform focuses in developing biotechnology and bioinformatics to assist breeding. In: MEETING, 10., 2011, Florianópolis, SC. Proceedings of X-meeting, 2011.
- LIMA, R.; FORMIGHIERI, E.F.; SOUZA JR., M.T. Embrapa Agrienergy and bioinformatics. In: MEETING, 10., 2011, Florianópolis, SC. Proceedings of X-meeting, 2011.
- RODRIGUES-NETO, J.C.; CORREIA, M. V.; SOUTO, A. L.; RIBEIRO, J. A. A.; RODRIGUES, M.; ABDELNUR, P.V. Validation of a PLS-DA model for biomarker discovery in *Elaeis guineensis* leaves related to Fatal Yellowing using UHPLC-MS/MS analysis. In: IUPAC 2017 - 46th World Chemistry Congress, 2017, São Paulo. Anais - IUPAC 2017, 2017.
- RODRIGUES-NETO, J.C.; MACÊDO, J. K. A.; RIBEIRO, J. A. A.; ABDELNUR, P. V. Imagem química de metabólitos de folha de dendê (*Elaeis guineensis*) por MALDI-MS. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 39., 2016, Goiânia. Anais da 39 RASBQ, 2016.
- RODRIGUES-NETO, J.C.; CORREIA, M.V.; SOUTO, A.L.; RIBEIRO, J.A.A.; RODRIGUES, M.; ABDELNUR, P.V. Metabolic biomarkers discovery of Fatal Yellowing on *Elaeis guineensis* leaves using Metabolomics approach. In: BrMASS, 6.; IBMSS - IBEROAMERICAN CONFERENCE ON MASS SPECTROMETRY, 1., 2016; UppCon, 13., 2016; BRMASS, 6., 2016; IBMSS - IBEROAMERICAN CONFERENCE ON MASS SPECTROMETRY, 1., 2016; UPPCON, 13., 2016, Rio de Janeiro, RJ.
- RODRIGUES-NETO, J.C.; SILVA, M.E.R.; COSTA, P.P.K.G.; RODRIGUES, C.M.; ABDELNUR, P.V. Desenvolvimento de protocolo analítico para folhas de dendê utilizando imagem química por MALDI-MS. In: WORKSHOP DA PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA, 1., 2015, Goiânia, GO.

Resumos expandidos em anais de congressos

- GUTIERREZ, M.D.E.; MENDONÇA, S.; SOUZA JUNIOR, M.T.; CARMONA, P.A.O.; CUNHA, R.N.V.; ALVES, A.A. Teor de óleo e umidade no mesocarpo de cinco acessos de Caiaué (*Elaeis oleifera*) da Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 9., 2016, Natal. Anais do VI Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e IX Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, óleos, Gorduras e Biodiesel.
- ALVES, A.A.; PEREIRA, V.M.; LEÃO, A.P.; FORMIGHIERI, E.F.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR, M.T. Advancing palm genomics by developing a high-density battery of molecular markers for *Elaeis oleifera* for future downstream applications. In: CONGRESS OF THE BRAZILIAN BIOTECHNOLOGY SOCIETY - SBBIOTEC, 5., 2014, Florianópolis, SC. Meeting abstracts.
- PEREIRA, V.M.; LEÃO, A.P.; VARGAS, L.H.; FARIAS, M.P. de; FORMIGHIERI, E.F.; CAPDEVILLE, G. de; SOUZA JUNIOR, M.T.; RIOS, S. de A.; ALVES, A.A. Extensão e organização da diversidade genética da coleção brasileira de germoplasma de *Elaeis oleifera*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 8., 2013, São Paulo, SP. Anais do 8º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA.
- LEÃO, A.P.; VARGAS, L.H.G.; FORMIGHIERI, E.F.; ALVES, A.A.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR., M.T. Estabelecimento de curva de melting para *Elaeis guineensis* Jacq. e *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 6., 2012, Ribeirão Preto, SP. Anais do VI Workshop Agroenergia.
- VARGAS, L.H.G.; LEÃO, A.P.; FARIAS, M.P.; ALVES, A. A.; FORMIGHIERI, E. F.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR., M.T. Avaliação da fragmentação do DNA genômico de *Elaeis guineensis* Jacq. e *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés por meio de ondas sonoras de alta frequência e autoclavagem. In: VI WORKSHOP AGROENERGIA, 6., 2012, Ribeirão Preto, SP. Anais do VI Workshop Agroenergia.
- FARIAS, M.P.; VARGAS, L.H.G.; LEÃO, A.P.; FORMIGHIERI, E.F.; ALVES, A.A.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR., M.T. Determinação de estádios meió-

ticos em *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 6., 2012, Ribeirão Preto. Anais do VI Work- shop Agroenergia.

- VARGAS, L.H.G.; LEÃO, A.P.; FARIAS, M.P.; ALVES, A.A.; FORMIGHIERI, E.F.; CAPDEVILLE, G.; SOUZA JR., M.T. Estabelecimento de um protocolo eficiente para extração de RNA a partir de folhas jovens de *Elaeis guineensis* Jacq. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 6., 2012, Ribeirão Preto, SP. Anais do VI Workshop Agroenergia.
- SOUTO, A.L.; RODRIGUES-NETO, J.C.; RIBEIRO, J.A.A.; RODRIGUES, C.M.; ABDELNUR, P.V. Identificação de marcadores químicos do Amarelamento Fatal em *Elaeis guineensis* por UHPLC-MS e PCA. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 39., 2016, Goiânia, Goiás. Anais da 39º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química.
- RICCI-SILVA, M.E.; RODRIGUES NETO, J.C.; RIBEIRO, J.A.A.; ABDELNUR, P.V. Análise de metabólitos secundários de raízes de dendê utilizando UPLC-ESI(+) -QTOF-MS. ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA - EnPI, 2., 2015, Brasília, DF. Anais do II Encontro de Pesquisa e Inovação da Embrapa Agroenergia – EnPI. p. 1-134.
- RODRIGUES NETO, J.C.; RICCI-SILVA, M.E.; SANTOS, C.F.; COSTA, P.P.K.G.; RIBEIRO, J.A. A.; ABDELNUR, P.V. Desenvolvimento de protocolo analítico para identificação de proteínas em frutos de dendê utilizando MALDI(+) -TOF-MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA - CBQ, 55., 2015, Goiânia, Goiás.

Artigos científicos

- CAMILLO, JULCEIA; LEÃO, ANDRÉ PEREIRA; MATOS, JEAN KLEBER; ALVES, ALEXANDRE ALONSO; FORMIGHIERI, EDUARDO FERNANDES; DE CAPDEVILLE, GUY; AZEVEDO, ANA LUIZA SOUSA; NUNES, JULIANE DORNELLAS; SOUZA JUNIOR, MANOEL TEIXEIRA. Reassessment of the Genome Size in *Elaeis guineensis* and *Elaeis oleifera*, and Its Interspecific Hybrid. **Genomics Insights**, v. 7, p. 13-22, 2014.
- VARGAS, L.H.G.; RODRIGUES NETO, J.C.; RIBEIRO, J.A. DE A.; RICCI-SILVA, M.E.; SOUZA JUNIOR, M.T.; RODRIGUES, C.M.; DE OLIVEIRA, A.E.; ABDELNUR, P.A. Metabolomics analysis of oil palm (*Elaeis guineensis*).

sis) leaf: evaluation of sample preparation steps using UHPLC-MS/MS. **Metabolomics**. (Dordrecht. Print), v. 12, p. 153, 2016.

- FERREIRA FILHO, JAIRE ALVES; DE BRITO, LUCAS SOARES; LEÃO, ANDRÉ PEREIRA; ALVES, ALEXANDRE ALONSO; FORMIGHIERI, EDUARDO FERNANDES; SOUZA JUNIOR, MANOEL TEIXEIRA. *In Silico* Approach for Characterization and Comparison of Repeats in the Genomes of Oil and Date Palms. **Bioinformatics and Biology Insights**, v. 11, p. 1-12, 2017.

Outros

- SOUZA JUNIOR, MANOEL TEIXEIRA. PD&I em suporte ao melhoramento genético de Palma de Óleo na Embrapa. **Agroenergia em Revista**, ano 2, n. 2, p. 10-11, maio 2011.

Agradecimentos

A construção e execução deste programa de PD&I só foram possíveis graças ao apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) para três dos quatro projetos executados até o momento. Nosso agradecimento à Finep e a todo o seu corpo técnico ligado a esses projetos.

Agradecemos também ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), mediante o fornecimento de bolsas de estudos.

Os agradecimentos são estendidos ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras (Ufla), que possibilitou a participação, até o momento, de cinco estudantes de mestrado e cinco de doutorado neste programa de PD&I. À Embrapa Amazônia Ocidental, em especial os colegas Raimundo Nonato Vieira da Cunha, Ricardo Lopes e Sara de Almeida Rios, pelo conhecimento compartilhado sobre a cultura da palma de óleo, a conservação de germoplasma e o melhoramento genético dessa cultura, e pela viabilização do acesso ao material biológico.

Por fim, nosso agradecimento a todos os analistas da Embrapa Agroenergia e a todos os estudantes de pós-graduação que ajudaram a executar as atividades de pesquisa do programa, os quais são autores e coautores dos trabalhos já citados.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (Brasil). **Nota Técnica 56**: arcabouço regulatório necessário ao uso do querosene de aviação sintético. Brasília, DF, 2013.
- AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no Sertão Nordestino**: caracterização, variação sazonal, limitações de uso. Brasília, DF: CNPq, 1995. 130 p.
- CHOO, Y. M.; YUSOF, B. ***Elaeis oleifera* palm for the pharmaceutical industry**. Kuala Lumpur: [s. n], 1996. 4 p. (Information series, n. 42).
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm**. Oxford: John Wiley & Sons, 2003.
- CUNHA, R. N. V. da; LOPES, R. **BRS Manicoré**: híbrido interespecífico entre o caiaué e o dendezeiro africano recomendado para áreas de incidência de amarelecimento-fatal. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 4 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Comunicado técnico, 85).
- CUNHA, R. N. V. da; LOPES, R.; BARCELOS, E. Domesticação e melhoramento de Caiaué. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (Ed.). **Domesticação e melhoramento**: espécies amazônicas. Viçosa, MG, 2009. p. 275-296.
- eHALOPH. **Halophytes Database**. 2017. Disponível em: <www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes/index.php>. Acesso em: 20 out. 2017.

FAO. **FAOSTAT**: Statistics Division. Disponível em: <www.fao.org/faostat>. Acesso em: 20 out. 2017.

FERWERDA, J. D. Oil palm. In: ALVIM, P. de T.; KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1997. p. 351-383.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, Malden, v. 179, n. 4, p. 945-963, 2008.

FRANZINI, V. I.; SILVA, A. R. B. e; GOMES JUNIOR, R. A. **Acidez do solo e sua correção em palma de óleo**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 386).

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. 2017. Disponível em: <www.fundaj.gov.br>. Acesso em: 20 out. 2017.

GHESQUIÈRE, M.; BARCELOS, E.; SANTOS, M. M.; AMBLARD, P. Polymorphisme enzymatique chez *Elaeis oleifera* H.B.K. (*Elaeis melanococca*). Analyse des populations du Bassin amazonien. **Oléagineux**, Montpelliercedex, v. 42, p. 143-153, 1987.

IBGE. Nota Técnica: estimativas da população dos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014. Disponível em: <https://www2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>. Acesso em: out. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMI-ÁRIDO (Brasil). Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro. Disponível em: <<http://sigsab.insa.gov.br/>>. Acesso em: out. 2017.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Ithaca, v. 46, p. 237-260, 1995.

LEI, X.; XIAO, Y.; XIA, W.; MASON, A.S.; YANG, Y.; MA, Z.; PENG, M. RNA-seq analysis of oil palm under cold stress reveals a different C-repeat binding factor (CBF) mediated gene expression pattern in *Elaeis guineensis* compared to other species. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 12, artigo e114482, 2014.

LUBRANO, C.; ROBIN, J. Major compounds study in fruit pulp oils of 6 Guiana palms species. **Acta Botanica Gallica**, Cedex, v. 114, p. 495-499, 1997.

MICHIELSE, C. B.; REP, M. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. **Molecular Plant Pathology**, Hoboken v. 10, n. 3, p. 311-324, 2009.

MÜELLER, C. C.; MARTHA JÚNIOR, G. B. A agropecuária e o desenvolvimento sócio-econômico recente do Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. D. F. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 105-172.

MÜLLER, A. A.; ALVES, R. M. **A dendeicultura na Amazônia Brasileira**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1997. 44 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 91).

OASE Foundation (Holanda). 2017. Disponível em: <www.oasefoundation.eu>. Acesso em: out. 2017.

PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 22, n. 6, p. 4056-4075, 2015.

PODMORE, C. Irrigation salinity: causes and impacts. **Prime Facts**, n. 937, 2009. Disponível em: <<https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/soils/salinity/general-information/irrigation>>. Acesso em: out. 2017.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da; FREITAS, P. L. de; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

RAMOS, E. J. A.; VEIGA, A. S.; FURLAN JÚNIOR, J. **Potencial produtivo de híbridos interespecíficos entre dendezeiro e caiauezeiro nas condições do nordeste paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 25 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 247).

SHARMA, R.; WUNGRAMPHA, S.; SINGH, V.; PAREEK, A.; SHARMA, M. K. Halophytes as bioenergy crops. **Frontiers in Plant Science**, 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01372..

SILVA, J. A. da. Avaliação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no Brasil - PNPB. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 22, n. 3, p. 18-31, 2013.

SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO, 2013, Brasília, DF. **Estado da arte, desafios atuais e visão de futuro**: anais. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2013. 297 p. Editor técnico: Rossano Gambetta.

STATISTA. The Statistics Portal. 2017. Disponível em: <www.statista.com> . Acesso em: out. 2017.

SUDENE. Resolução nº 107, de 27 jul. 2017. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Resolucao-107-2017.pdf>> . Acesso em: out. 2017.

SURESH K.; MATHUR, R. K.; BEHERA, S. K. Oil Palm. In: RAO, N. K.; SHIVASHANKARA, K. S.; LAXMAN, R. (Ed.). **Abiotic stress physiology of horticultural crops**. New Delhi: Springer, 2016.

TELES, D. A. A. **Características físicas e rendimento mensal em óleo de cachos de duas cultivares de dendezeiros cultivadas, sob irrigação, no Cerrado do Distrito Federal**. 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Medicina Veterinária) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

VEIGA, A. S.; SINIMBU, S. do E.S.; RAMOS, E. J. A. **Irrigação em dendezeiros na Região do Acará, Pará**. 2001. Disponível em: <www.marborges.com/irrigacao_dendezeiro.pdf> . Acesso em: out. 2017.

Embrapa

Agroenergia

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 14189